



YUMUŞAK PORSELEN ÜRETİMİNDE EŞ EKSENLİ PRES ATIKLARININ VE BİSKÜVİ ATIKLARININ GERİ KAZANIMI

Bülent BÜYÜKKIDAN^{1*}, Nurgün BÜYÜKKIDAN¹, Yavuz ÇİÇEK¹

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Kütahya, bulent.buyukkidan@dpu.edu.tr,
ORCID: 0000-0001-9619-3246

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Kütahya,
nurgun.buyukkidan@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6879-9355

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Kütahya, yavuz4389@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-7292-5294

Geliş Tarihi:03.07.2019

Kabul Tarihi:27.04.2020

ÖZ

Bu çalışmada, seramik fabrikalarında üretimde eş eksenli pres makinelerinde kullanılan yumuşak porselen pres çamuru granüllerinin ve bisküvi mamullerinin, işletmede herhangi farklı bir üretim aşamasında kullanılmayan atıklarının değirmen ve mikserler yardımıyla geri kazanımını sağlanmıştır. Öğütülüp, belirli oranlarda karıştırılarak geri kazanılan bu çamurların, kimyasal (XRF, DTA-TG) ve fiziksel (mukavemet, renk ölçümü, yoğunluk, akma zamanı, elek bakiyesi, tane boyutu, küçülme, deformasyon, çarpma ve parçacık kopma dayanımı) analizleri yapılarak yeniden işletme prosesine kazandırılmıştır. Pres çamuru granüllerinin atıklarının ve atık bisküvilerin çeşitli öğütme parametreleri(bisküvi ve granül atıklarının aynı anda, ayrı veya aşamalı olarak öğütülmesi) fiziksel özellikleri, kimyasal özellikleri ve bunlarla birlikte reçete çalışmaları yapıp pişme davranışları incelenmiştir. Yapılan bu incelemeler ışığında, atık numunenin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin yumuşak porselene benzerliklerinden dolayı atıkların geri kazanımı sağlanarak işletmeye alınmasında herhangi bir sorunla karşılaşılmanmıştır. Eş eksenli preslerle yaklaşık %80 oranında üretim yapan bir seramik fabrikasında aylık ortalama 700 ton yumuşak porselen granülü kullanılmaktadır. Eş eksenli presle üretimden kaynaklanan %20'lik zayıfın geri kazanımı düşünülürse aylık 140 ton atığın tekrar üretime alınması söz konusu olacaktır. Yapılan deneyler sonunda elde edilen verilerle yapılan bu geri kazanım sayesinde, ortalama ton başına granül maliyetinin 150 euro olduğunda elde edilecek ekonomik kazanım aylık 20000 euronun üzerinde olacaktır. Doğal olarak bu miktar firma için ekonomik getirisinin yanı sıra, bu dövizin yurtdışından hammadde alımında kullanılmayacağı için ulusal bir kazanım olarak geri dönecektir ve döviz çıkışını azaltacaktır.

Anahtar kelimeler:*Geri kazanım, granül, öğütme, yumuşak porselen*

RECYCLING OF CO-AXIAL PRESS WASTE AND BISCUIT WASTE IN SOFT PORCELAIN PRODUCTION

ABSTRACT

In this study, the recovery of soft porcelain press mud granules and biscuit products used in coaxial press machines in ceramic factories and wastes that are not used at any different production stage in

the enterprise were provided with the help of mills and mixers. Chemical (XRF, DTA-TG) and physical (strength, color measurement, density, flow time, sieve balance, grain size, shrinkage, deformation, impact and particle rupture strength) of these muds that are ground and recycled by mixing at certain rates has been added to the business process. Various grinding parameters of waste sludge granules and waste biscuits (simultaneous, separate or progressive grinding of biscuit and granule wastes) physical properties, chemical properties, along with recipe studies and cooking behaviors were examined. In the light of these examinations, no problems were encountered in recycling the wastes and putting them into operation due to the similarity of the chemical and physical properties of the waste sample to soft porcelain. In a ceramic factory producing approximately 80% with coaxial presses, an average of 700 tons of soft porcelain granules are used monthly. Considering the recovery of 20% waste from co-axial press production, 140 tons of waste per month will be put back into production. Thanks to this recovery with the data obtained at the end of the experiments, the economic gain to be achieved when the average cost of granules per ton is 150 euro, will be over 20000 euros per month. Naturally, this amount will return as a national gain and reduce the foreign currency outflow, as this foreign currency will not be used to purchase raw materials from abroad, as well as its economic return for the company.

Keywords: *Recycling granule, grinding, soft porcelain*

1. GİRİŞ

Porselen ilk olarak Çin'de M.Ö.185 yıllarında bulunmuştur. Tanınması ve yaygınlaşması, ilkel porselenden Seladona geçişin olduğu Doğu Han Hanedanlığı ile başlamıştır. Bilinen ilk mavi- beyaz porselen Tang Hanedanlığına (M.S. 618-907) aittir [1]. Avrupa'da tanınması, Marco Polo'nun Çin'den İtalya'ya porselen eşyalar getirmesi ile başlamıştır. Daha sonra Portekizli tüccarlarında taşıdığı porselenler, haçlı seferlerinin de etkisi ile tüm Avrupa'da hayranlık uyandırmış ve giderek yaygınlaşarak kullanıma başlanmıştır [2]. İlk sert porselen 1709 yılında Meissen fabrikasında sır altı mavi ve düşük transparanlıkta üretilmiştir [3]. Sert porselenin standart bileşimi; %50 Kil-Kaolen, %25 Feldispat ve %25 Kuvarstan oluşur. Üretim şartlarına bağlı olarak kullanılan hammaddelerin oranları değişmektedir. Bisküvi pişirimi düşük sıcaklıkta (900–1000 °C), sır pişirimi ise (1350-1400 °C) daha yüksek sıcaklıkta yapılabilmektedir [4]. Yumuşak porselen ise adından anlaşıldığı üzere mukavemetinden ziyade, sert porselen ile kıyaslandığında daha düşük pişirim sıcaklığına sahip olması nedeniyle almıştır. Yarı saydam, genel olarak beyaz renkli ve 1320 °C altında vitrifiye olmuş porselenlerdir [5]. Yumuşak porselen ilk kez 1575 yılında çalışılmaya başlansa da başarılı bir sonuç alınamamıştır [6].

Porselen, sofraya eşyası, elektrik izolatörleri, banyo ve sağlık gereçleri gibi sektörleri içine almaktadır. Sinterlenme sıcaklıklarına göre porselenler sert porselen ve yumuşak porselen olmak üzere ikiye ayrılırlar. Sert porselenler 1350-1400 °C aralığında pişirilirken yumuşak porselenler 1200-1250 °C aralığında pişirilirlen. Sert porselen, geleneksel seramik ürünler içerisinde beyazlığı, transparanlığı ve %0 su emme gibi özellikleri bir arada bulundurması nedeniyle ekonomik değeri yüksek bir üründür Porselen üretimi işçilik, yakıt ve hammadde giderlerinin yüksek olmasının yanında teknik anlamda incelendiğinde, proses hata çeşidinin ve fire oranının yüksekliği, üretim süreci, mikroyapı gelişimi gibi nedenlerden ötürü tüm geleneksel seramik üretim süreçleri içinde en yüksek maliyetli ve karmaşık olanıdır. Seramik sektöründeki en kaliteli hammaddeler porselen sektöründe kullanılmaktadır. Kullanılan hammaddeler üretilen nihai ürünün kalitesini direkt olarak belirlemekte bununla birlikte hammadde maliyeti pazardaki rekabet gücünü etkileyebilmektedir. Bu nedenle

porcelain üreticileri, düşük maliyetle yüksek kaliteli ürün üretimi hedeflenmekte bu bağlamda alternatif hammaddelerin porcelen bünyelerde kullanımı önemli bir araştırma konusu haline gelmektedir [7].

Porcelen üretiminde farklı şekillendirme teknikleri kullanılmaktadır. Bu tekniklerden en yoğun olarak kullanılanı eş eksensli preslerle üretimdir. Bu üretim hızlı olmasının yanı sıra bazı kayıpları da beraberinde getirmektedir. Bu kayıplar genelde pres sonrası ortaya çıkan talaşlar, rötuş kayıpları ve fırınlama sonrasında ortaya çıkan bisküvi zayıflarıdır. Üretim esnasında ortaya atık olarak çıkan yumuşak porcelen pres çamuru granül atıkları ve bisküvi atıkların geri kazanımı ve yeniden kullanımı bu çalışmada da irdelendiği gibi yüksek bir potansiyele sahiptir. Dışarı atılan bu yumuşak porcelen pres çamuru granül atıklarının ve bisküvi atıklarının geri kazanımı hammaddede dışa bağımlılığı azaltacak ve hammadde tedarikinde karşılaşılan zorlukları azaltacaktır. Bunun yanı sıra döviz çıkışını azaltıp ülke ekonomisine katkıda bulunacaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE DEĞERLENDİRME

2.1. Deneysel Yöntem

Deneysel çalışmalar orijinal işletme çamuru fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre yapılmıştır. Kimyasal özellikler bakımından birbirine yakınlık gösterdikleri için ilk olarak tane boyu ve elek bakiyesi ayarlaması yapılmıştır. Bu deneysel çalışmalara öncelikle pres ve bisküvi atıkları öğütülüp, işletme çamurunun tane boyutu ve elek bakiyesine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar elde edildikten sonra atık çamurların işletmede kullanılabilmesi için birbirlerine karışım oranları ayarlaması yapılarak karışımın fiziksel ve kimyasal davranışları incelenmiştir. Yapılan tüm deneylerde optimum işletme şartları göz önünde bulundurulmuştur.

2.1.1. Uygun öğütme koşullarının belirlenmesi

Değirmenlerde uygun öğütme koşullarının bulunması için değirmendeki su oranı, boşluk, kuru madde oranı ve taş oranı iyi belirlenmelidir. Bu oranları belirlerken daha önceki tecrübelerle bağlı olarak planlanan uygun öğütme koşulları aşağıdaki Çizelge 1'e göre değirmen oranları belirlenmiştir.

Çizelge 1. Planlanan uygun öğütme koşulları.

Boşluk	%30
Taş(Bilya)	%20
Kuru Madde	%16
Su	%34

Öğütmede kullanılmak için 230 L hacminde bir pilot değirmen ve öğütücü olarak alümina bilya seçilmiştir.

2.1.2. Alümina bilya oranları

Pilot değirmenin hacmine göre alümina bilya oranı %20 olarak belirlenmiştir. Alümina bilya yoğunluğu 3,5 kg/L'dir. Bu verilere göre alınacak alümina bilya miktarı hesabı aşağıda gösterildiği gibidir.

Bilya yoğunluğu: 3,5 kg/L

Değirmen hacmi: 230 L

Alümina bilya miktarı = Değirmen hacmi x Bilya oranı x Alümina bilya yoğunluğu

Alümina bilya miktarı = 230x20/100x3,5

= 161 kg alümina bilya

Öğütme daha kolay şartlarda gerçekleşmesi için alümina bilya boyutlar 30 mm, 40 mm, 50 mm olarak seçilmiştir. Bu ebatlara göre bilya miktarları aşağıdaki gibidir.

30 mm : 42,5 kg

40 mm : 76 kg

50 mm : 42,5 kg

Toplamda 161 kg alümina bilya alınmıştır.

2.1.3. Kuru madde oranları

Pilot değirmenin hacmine göre yumuşak porselen granül atığı ve bisküvi atığı %16 olarak belirlenmiştir. Yumuşak porselen granül atığı ve bisküvi atığının yoğunluğu 2,6 kg/L'dir. Bu verilere göre alınacak kuru madde miktarı hesabı :

Kuru madde miktarı = Değirmen hacmi x Kuru madde oranı x Kuru madde yoğunluğu

Kuru madde miktarı = $230 \times 16 / 100 \times 2,6$

= 95,6 kg yumuşak porselen granül atığı + bisküvi atığı

2.1.4. Su ve boşluk oranları

Öğütme koşullarında belirlenen oranlara göre değirmene alınması gereken su oranı %34 olarak belirlenmiştir. Suyun yoğunluğu 1,0 kg/L olarak kabul edilmiştir.

Su miktarı = Değirmen hacmi x Su oranı x Su yoğunluğu

Su miktarı = $230 \times 34 / 100 \times 1,0$

= 78,2 kg su miktarı

Değirmende kalan boş hacim boşluk oranı (%30) hesaplanmıştır.

2.1.5. Atıkların öğütülmesi

Atıkların en iyi ve en ekonomik koşullarda öğütülmesi için dört farklı deney yapılmıştır.

i-Bisküvi + Granül atığı (%78 granül + %22 bisküvi atığı)

ii-Sadece bisküvi atığı

iii-Sadece granül atığı

iv-Aşamalı olarak granül ve bisküvi atığı

2.1.6. Bisküvi ve granül atığı öğütülmesi

Pilot değirmene belirli oranlarda bisküvi ve yumuşak porselen granül atığı yüklemesi yapılmıştır. Bu oranlar :

%78 granül atığı

%22 bisküvi atığı

Belirlenen bu oranlara göre atıklar 95,6 kg olarak yüklenmiştir.

Granül miktarı = Toplam atık miktarı x Granül oranı

Granül miktarı = $95,6 \times 78 / 100$

= 74,5 kg granül atığı

Bisküvi atığı miktarı = Toplam atık miktarı x Bisküvi atığı oranı

Bisküvi atığı miktarı = $95,6 \times 22 / 100$

= 21,1 kg bisküvi atığı

Yapılan bu yüklemeler 1,5 kg/Lyoğunluğa göre yapılmıştır.

Yapılan bu öğütmenin elek bakiyesi oranları Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Elek bakiyesi oranları.

Geçen Süre (dakika)	Yoğunluk (kg/L)	63µ Elek Bakiyesi	38µ Elek Bakiyesi
60 dakika	1,545	%8,13	% ---
120 dakika	1,565	%4,54	% ---
180 dakika	1,570	%2,50	%6,07
240 dakika	1,565	%1,49	%4,41

Yapılan öğütmenin tane boyu ve dağılımları Çizelge 3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Tane boyut ve dağılımları.

1 µm	10 µm	63 µm	d50	d97
%8,24	%58,04	%98,12	7,361 µm	53,3 µm

2.1.7. Bisküvi atığı öğütülmesi

Pilot değirmene 95,6 kg bisküvi atığı yüklemesi 1,5 kg/L yoğunluğa göre yapılmıştır. Yapılan bu öğütmenin elek bakiyesi Çizelge 4’te gösterilmiştir.

Çizelge 4. Elek bakiyesi oranları.

Geçen Süre (dakika)	Yoğunluk (kg/L)	63µ Elek Bakiyesi	38µ Elek Bakiyesi
60 dakika	1,500	% ---	% ---
120 dakika	1,505	% ---	% ---
215 dakika	1,505	%6,88	% ---
255 dakika	1,500	%3,91	% ---
330 dakika	1,515	%2,14	%6,95
360 dakika	1,525	%1,31	%4,26
480 dakika	1,520	%0,74	%3,86

Yapılan bu öğütmenin 480 dakika sonundaki tane boyut ve dağılımları Çizelge 5’te gösterilmiştir.

Çizelge 5. 480 Dakika sonundaki tane boyut ve dağılımları.

1 µm	10 µm	63 µm	d50	d97
%6,14	%49,11	%97,82	10,33 µm	56,71 µm

2.1.8. Granül atığının öğütülmesi

Pilot değirmene belirlenen orana göre öğütülmek üzere sadece 95,6 kg yumuşak porselen granül atığı yüklemesi yapılmıştır. Yapılan bu yüklemeler 1,5 kg/L yoğunluğa göre yapılmıştır. Yapılan bu öğütmenin elek bakiyesi Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6. Elek bakiyesi oranları.

Geçen Süre (dakika)	Yoğunluk (kg/L)	63µ Elek Bakiyesi	38µ Elek Bakiyesi
60 dakika	1,505	%8,10	% ---
150 dakika	1,505	%2,97	% ---
210 dakika	1,510	%1,19	%4,30

Yapılan bu öğütmenin tane boyut ve dağılımları Çizelge 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 7. 210 Dakika sonundaki tane boyut ve dağılımları.

1 µm	10 µm	63 µm	d50	d97
%8,42	%63,57	%99,98	5,84 µm	38,08 µm

2.1.9. Aşamalı granül ve bisküvi atığı öğütülmesi

Pilot değirmene öğütülecek malzeme olan yumuşak porselen granül atığı ve bisküvi atığı yüklemesi aşamalı olarak yapılmıştır. İlk aşamada pilot değirmene 29 kg bisküvi atığı, 12 kg granül atığı ve 35 L su yüklemesi yapılmıştır. Pilot değirmende bir saat öğütme yapıp elek bakiyesi oranları kayıt altına alınmıştır. İkinci aşamada değirmene 90 kg yumuşak porselen granül atığı, 30 L su ve 262 g Dolopix SPC 7 ilavesi yapılmıştır. Bu yüklemeler 1,7 kg/L yoğunluğa göre yapılmıştır. Yapılan bu öğütmenin elek bakiyesi oranları Çizelge 8'de gösterilmiştir.

Çizelge 8. Elek bakiyesi oranları.

Geçen Süre (dakika)	Yoğunluk (kg/L)	63µ Elek Bakiyesi	38µ Elek Bakiyesi
60 dakika	1,475	%3,04	% ---
120 dakika	1,645	%2,82	% ---
210 dakika	1,665	%0,79	%2,81

Yapılan bu öğütmenin tane boyut ve dağılımları Çizelge 9’da gösterilmiştir.

Çizelge 9. Tane boyut ve dağılımları.

1 µm	10 µm	63 µm	d50	d97
%8,34	%64,51	%99,92	6,02 µm	39,42 µm

2.1.10. Karışım oranlarının belirlenmesi

Yumuşak porselen granül atığı ve bisküvi atığı ile işletmede kullanılan granül çamuru belirli oranlarda karıştırılıp, oluşan bu karışımın fiziksel ve kimyasal özellikleri karşılaştırılmıştır. Bu karışım oranları aşağıdaki verilmiştir.

Kütlece %5 atık çamur + %95 işletme çamuru

Kütlece %10 atık çamur + %90 işletme çamuru

Kütlece %15 atık çamur + %85 işletme çamuru

Alınan bu çamurlar kuru madde oranlarına göre karıştırılmıştır. Karışımlar toplamda 3000 gr kuru madde olacak şekilde hazırlanmıştır.

2.1.11. Yoğunluk ölçüm deneyi sonucu

Kütlece karışımları hazırlanan %5, %10, %15 atık ilaveli çamurların yoğunluk ölçümü, TSE (Türk Standartları Enstitüsü) tarafından kalibrasyonu yapılmış hacmi 100 ml ve kütlesi 200 gr olan metal piknometre ile yapılmıştır. Kuru ve temiz olan piknometrenin öncelikle terazide darası alınmış ve içerisine çamur doldurularak delikli kapağı kapatılmıştır. Kapağın deliğinden taşan çamurlar temizlenmiş ve piknometre tartılmıştır. Okunan değer 10 ile çarpılarak sonuç g/ml olarak hesaplanmıştır. Kütlece karışımları hazırlanan %5, %10, %15 atık ilaveli çamurların yoğunluk ölçümü sonuçları Çizelge 10’ da gösterilmiştir.

Çizelge 10. Hazırlanan çamurların yoğunluk ölçüm sonuçları.

Hazırlanan Çamurlar	Yoğunluk (kg/lt)
İşletme çamuru	1,710
%5’lik karışım	1,640
%10’luk karışım	1,640
%15’lik karışım	1,640

2.1.12. Akma zamanı ölçüm deneyi sonucu

Kütlece karışımları hazırlanan %5, %10, %15 atık ilaveli çamurların akma zamanı ölçüm deneyleri, TSE tarafından kalibre edilmiş 4 mm. çaplı deliğe sahip vizkozite kabı (ford-cup) kullanılarak yapılmıştır. Deliği kapalı tutulan vizkozite kabı içerisine iyice karıştırılmış çamur doldurulmuştur. vizkozite kabının deliği açıldığı anda kronometre çalıştırılmıştır. Kap içerisindeki çamur tamamen boşalıp akış durduğu anda kronometre durdurulmuştur. Kronometrede okunan değer çamurun saniye cinsinden akma zamanını vermektedir. İkinci akma zamanı ölçümü aşağıda anlatıldığı gibi yapılmıştır:

Çamur iyice karıştırılarak vizkozite kabına doldurulmuş ve 10 dakika boyunca hiçbir şekilde karıştırmaya veya sarsıntıya maruz bırakılmadan beklenmiştir. Daha sonra vizkozite kabının deliği açılarak kronometre aynı anda başlatılmıştır. Kap içerisindeki çamur tamamen bitip akış durduğu anda kronometre durdurulmuş ve kronometrede okunan değer saniye cinsinden çamurun ikinci akma zamanını vermiştir. Hazırlanan çamurların akış zamanları Çizelge 11’de gösterilmiştir.

Çizelge 11. Akma zamanı değerleri.

Hazırlanan Çamurlar	Akma Zamanı (s)
İşletme çamuru	21
%5’lik karışım	20
%10’luk karışım	19
%15’lik karışım	20

2.1.13. Elek bakiyesi ölçüm deneyi sonucu

Elek bakiyesi ölçümü için hazırlanan çamurların su yüzdesi belirlenmiştir. Nem ölçüm cihazı ile hazırlanan çamurların nem yüzdesi belirlenmiş ve bu değer üzerinden 100 g çamur içerisindeki kuru madde miktarı Eş. 3.1 ve Eş. 3.2’de belirtildiği gibi hesaplanmıştır. 100 g çamur 63 µm’luk elek üzerinde dökülmüş, elek üzerindeki çamur su ile iyice yıkanmış, elek üzerinde kalan malzeme pipet yardımı ile alınıp etüvde kurutulmuştur. Kurutulan malzeme tartılarak Eş. 3.3’te yerine konularak elek bakiye değeri hesaplanmıştır. 38 µm Elek bakiyesi de aynı şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Kuru madde Oranı} = 100 - \text{Nem Yüzdesi} \quad (3.1)$$

$$\text{Kuru Madde Miktarı} = \text{Kuru Madde Oranı} \times 100/100 \quad (3.2)$$

$$\% \text{ Elek Bakiye Değeri} = (B/M) \times 100 \quad (3.3)$$

Hazırlanan çamurların 63 µm ve 38 µm elek bakiyeleri Çizelge 12’de gösterilmiştir.

Çizelge 12. Elek bakiyesi değerleri.

Hazırlanan Çamurlar	63 µm Elek Bakiyesi	38 µm Elek Bakiyesi
İşletme çamuru	%0,11	%1,74
%5’lik karışım	%0,15	%1,90
%10’luk karışım	%0,11	%1,99
%15’lik karışım	%0,17	%2,26

2.1.14. Kuru küçülme deneyi sonucu

Karışımları yapılmış çamurlardan döküm tekniğiyle dökümü yapılan 30x3,0x0,8 cm ebatındaki çubuklara kurumaya bırakılmadan önce ıslak uzunluğu ölçülmüştür. (l_0) 100 °C’de kuruyana kadar bekletilen çubuklar tekrar ölçülmüştür. (l_1) Kuru uzunluk ile ıslak uzunluk arasındaki fark kuru küçülmeyi vermiştir. Ölçülen değerler Eş. 3.4’te yerine koyulup ve kuru küçülme hesaplanmıştır.

$$\text{Kuru Küçülme} = (\text{Islak uzunluk } (l_0) - \text{Kuru uzunluk } (l_1)) / \text{Islak uzunluk } (l_0) \times 100 \quad (3.4)$$

Kütlece karışımları hazırlanan %5, %10, %15 atık ilaveli çamurların kuru küçülmeleri Çizelge 13’de gösterilmiştir.

Çizelge 13. Kuru küçülme oranları.

Hazırlanan Çamurlar	Kuru Küçülme (%)
İşletme çamuru	% 1,93
%5'lik karışım	%2,85
%10'luk karışım	%2,96
%15'lik karışım	%2,62

2.1.15. Toplam küçülme deneyi sonucu

Toplam küçülme testinde, ıslak ölçüleri (I_0) alınan çubuklar 100 °C de kurutulduktan sonra kuru ölçümü yapılmıştır. (I_1) Kuru ölçümü yapılan çubuklar pişirilip ve pişmiş uzunluğu (I_2) alınmıştır. Sonuçlar % toplam küçülme olarak Eş 3.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{Toplam Küçülme} = \text{Kuru Küçülme} + \text{Pişme Küçülmesi} \quad (3.5)$$

$$\% \text{Toplam Küçülme} = ((I_0 - I_1)/I_0) + ((I_1 - I_2)/I_1) \times 100$$

Toplam küçülmeleri hesaplanan karışımların verileri Çizelge 14'de gösterilmiştir.

Çizelge 14. Toplam küçülme oranları.

Hazırlanan Çamurlar	Bisküvi Küçülme (%)	Toplam Küçülme (%)
İşletme çamuru	%2,6	%11,07
%5'lik karışım	%3,6	%13,57
%10'luk karışım	%3,7	%13,51
%15'lik karışım	%3,1	%13,46

2.1.16. Deformasyon ölçüm deneyi sonucu

Özlu hammaddelerde deformasyon ölçümü için, hazırlanan döküm çamurlarından 3.5x20x1 cm boyutlarında çubuklar dökülmüştür ve kalıptan alınan çubuklar önce oda sıcaklığında 24 saat, sonra etüvde 200 +/-5 °C 'de 2 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Kurutma çıkışı çubuklar Şekil 1' de görüldüğü gibi deformasyon ayaklarına yerleştirilerek fırına verilmiştir. Pişirim sıcaklığı standart pişirim sıcaklığı olan 1200 °C'dir. Fırın çıkışı eğrilen çubuğun en alt noktası ile çubuğun başlangıç noktası arasındaki mesafe kumpas yardımı ile ölçülerek mm cinsinden deformasyon değeri bulunmuştur.



Şekil 1. Deformasyon ölçümü, (a) Deformasyon ölçüm ayağına yerleştirilmiş numune, (b) Deformasyon ölçümü

Deformasyonları ölçülen karışımların verileri Çizelge 15’de gösterilmiştir.

Çizelge 15. Deformasyon ölçüm sonuçları.

Hazırlanan Çamurlar	Deformasyon (mm)
İşletme çamuru	6.51
%5’lik karışım	5.29
%10’luk karışım	5.74
%15’lik karışım	6.47

2.1.17. Mukavemet ölçüm deneyi sonucu

Kütlece karışımları hazırlanan %5, %10, %15 atık ilaveli çamurların, mukavemet ölçümleri üç nokta eğme yöntemi ile yapılmıştır. Deneyde 25x2x1 cm boyutlarında döküm yöntemi ile şekillendirilerek kurutulan parçalar kullanılmıştır. Şekillendirilen numuneler ölçümden önce 100 °C’ de kurutulmuştur. Karışımların mukavemet değerleri Eş.3.6’da verilen formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Kuru Mukavemet} = (3pxl) / (2xbxh2x9.81) \quad (3.6)$$

p: Ortalama Kırma Kuvveti (N) (kgm/s²) h: Çubuk Kalınlığı (cm) l: Destek Aralığı (cm) 9.81: Yer Çekimi İvmesi(3 nokta eğme testinde iki nokta sabit, bir nokta orta kısmından aşağıya çektiği için) (m/sn²) b: Çubuk Genişliği (cm)

Kütlece karışımları hazırlanan %5, %10, %15 atık ilaveli çamurların mukavemet ölçümleri Çizelge 16’da gösterilmiştir.

Çizelge 16. Mukavemet ölçüm sonuçları.

Hazırlanan Çamurlar	Mukavemet (kg/cm ²)
İşletme çamuru	19,86
%5’lik karışım	21,40
%10’luk karışım	22,06
%15’lik karışım	22,68

2.1.18. Tane boyutu ve dağılım ölçüm deneyi sonucu

Kütlece karışımları hazırlanan %5, %10, %15 atık ilaveli çamurların, tane boyutu ve dağılımlarının doğru şekilde ölçülebilmesi için alınacak numunelerin iyice karışması ve homojen hale gelmesi sağlanmıştır. Spatülle bir miktar numune alınarak cihaza verilmiştir. Cihazda okunan değer tane boyu ve dağılım sonucunu vermiştir. Kütlece karışımları hazırlanan %5, %10, %15 atık ilaveli çamurların tane boyutu ve dağılımları Çizelge 17’de gösterilmiştir.

Çizelge 17. Tane boyutu ve dağılımları.

TANE DAĞILIMLARI	ISL CMR	% 5 ATIKLI CMR	% 10 ATIKLI CMR	% 15 ATIKLI CMR
1 µm	% 8,30	% 8,17	% 8,45	% 9,03
10 µm	% 60,80	% 59,21	% 59,47	% 62,60
63 µm	% 99,97	% 99,95	% 99,94	% 100,00
d(0.5)	6,309 µm	6,686 µm	6,640 µm	5,788 µm
d(0.97)	39,89 µm	40,67 µm	41,12 µm	41,64 µm
Mukavemet(kg/cm ²)	19,86	21,40	22,06	22,68

2.1.19. Kimyasal analiz deneyi sonucu

Kütlece karışımları hazırlanan %5, %10, %15 atık ilaveli çamurların, kimyasal analizleri eritiş yöntemiyle yapılmıştır. Eritiş yönteminde, alınan numuneler yaklaşık 0,92-0,93 g aralığında tartılmış ve üzerine yaklaşık 7,20-7,25 g aralığında ergitici malzeme (Lityumtetraborat) platin krozeeye alınarak eritiş cihazına verilmiştir. Eritiş cihazında cam tablet haline getirilen numuneler XRF cihazında analiz edilmiştir. Analizi yapılan %5, %10, %15 atık ilaveli ve yumuşak porselen işletme çamurunun kimyasal analiz sonuçları Çizelge 18’de gösterilmiştir.

Çizelge 18. Kimyasal analiz sonuçları.

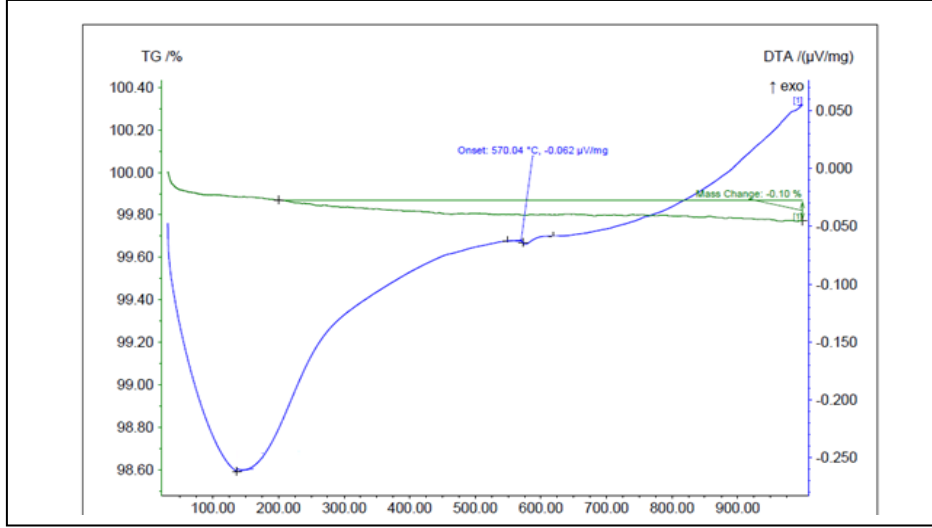
ELEMENTLER	ISL CMR	% 5 ATIKLI CMR	% 10 ATIKLI CMR	% 15 ATIKLI CMR
Na ₂ O(%)	4,01	3,92	3,96	3,98
MgO(%)	0,437	0,414	0,425	0,423
Al ₂ O ₃ (%)	21,71	22,10	22,10	20,98
SiO ₂ (%)	66,06	65,69	64,30	66,61
K ₂ O(%)	0,6530	0,6070	0,6140	0,5960
CaO(%)	0,3906	0,4136	0,4038	0,4922
TiO ₂ (%)	0,0394	0,0417	0,0467	0,0402
MnO(%)	0,00066	0,00056	0,00065	0,00063
Fe ₂ O ₃ (%)	0,3288	0,3137	0,3675	0,3556
Mukavemet(kg/cm ²)	19,86	21,40	22,06	22,68

Yumuşak porselen işletme çamuru ve atık ilaveli çamurlardan alınan numunelerin kimyasal analiz sonuçları işletme şartları açısından değerlendirildiğinde farkın minimal düzeyde olduğu gözlenmiştir. Bu fark işletme kriterleri dahilindedir. %15 Atık ilaveli çamur seçimi maksimum düzeyde en uygun şartları sağlamaktadır.

2.1.20. Isıl davranış analizleri deneyi sonucu

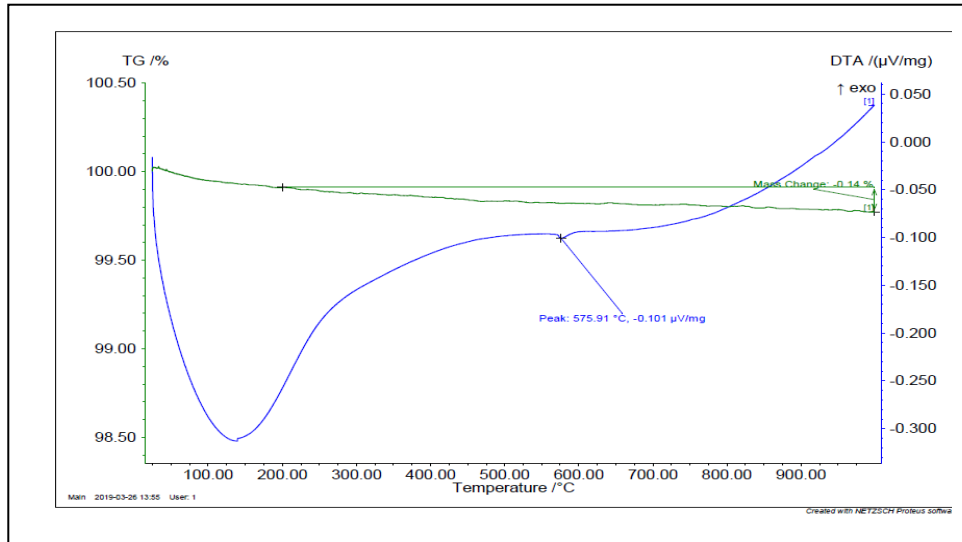
Kütlece karışımları hazırlanan %5, %10, %15 atık ilaveli çamurların, ısıl davranış analizleri için alınan numuneler etüvde kurutulmuş ve 0,1 g tartılarak DTA-TG cihazına verilmiştir. Analiz 1000 °C’de gerçekleştirilmiş ve ısının numuneye etkisi görülmüştür.

Analizi yapılan %5, %10, %15 atık ilaveli ve yumuşak porselen işletme çamurunun ısıl davranış analiz sonuçları Şekil 2, 3, 4, 5 ve Çizelge 19’da gösterilmiştir.



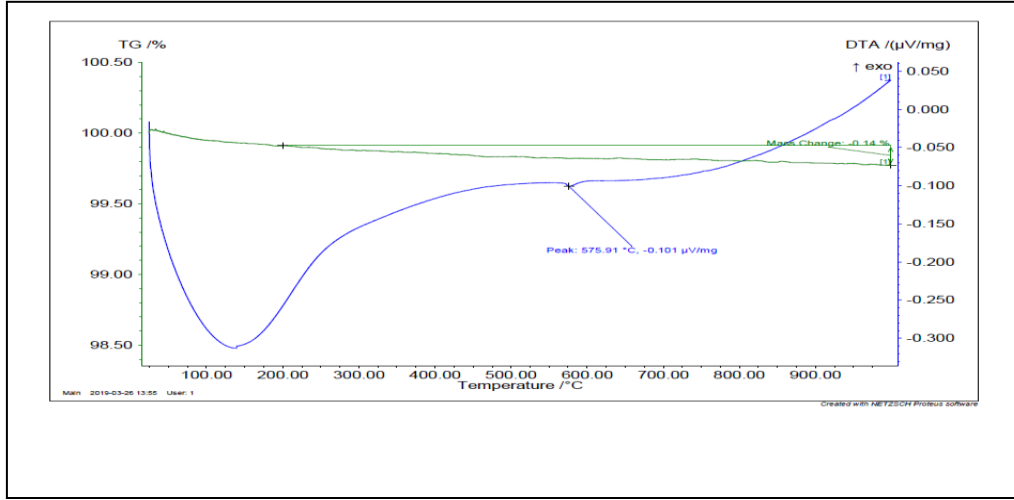
Şekil 2. Yumuşak porselen işletme çamuru DTA-TG analizi.

Yumuşak porselen işletme çamuruna yapılan bu analizde alınan numune, analiz sonunda %0,1 kütle kaybına uğramıştır. Kuvarstaki dönüşüm 570 °C’de gerçekleşmiştir.



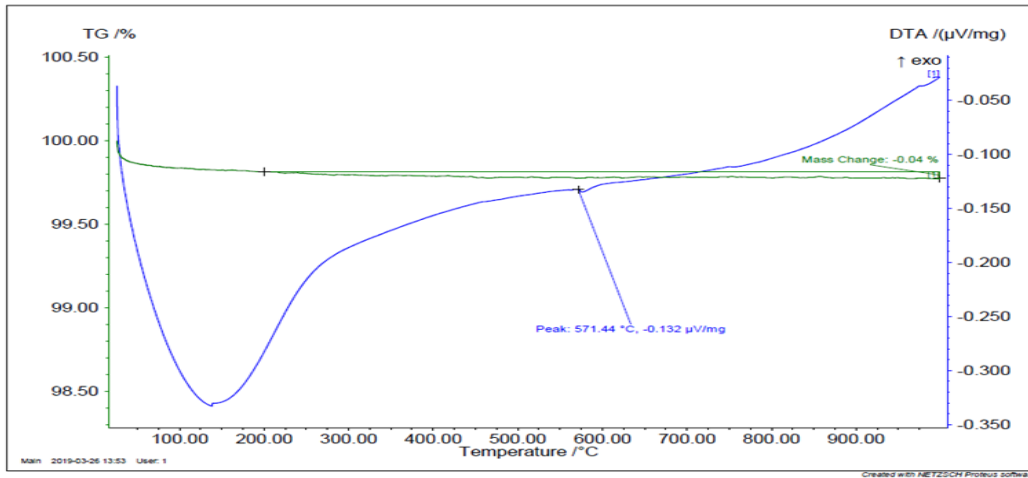
Şekil 3. %5 Atık ilaveli çamur DTA-TG analizi.

%5 Atık ilaveli çamura yapılan bu analizde alınan numune, analiz sonunda %0,14 kütle kaybına uğramıştır. Kuvarstaki dönüşüm 575 °C’de gerçekleşmiştir.



Şekil 4. %10 Atık ilaveli çamur DTA-TG analizi.

%10 Atık ilaveli çamura yapılan bu analizde alınan numune, analiz sonunda %0,14 kütle kaybına uğramıştır. Kuvarstaki dönüşüm 575 °C’de gerçekleşmiştir.



Şekil 5. %15 Atık ilaveli çamur DTA-TG analizi.

%15 Atık ilaveli çamura yapılan bu analizde alınan numune, analiz sonunda %0,04 kütle kaybına uğramıştır. Kuvarstaki dönüşüm 571 °C’de gerçekleşmiştir.

Çizelge 19. Isıl davranış analiz sonuçları.

	ISL CMR	% 5 ATIKLI CMR	% 10 ATIKLI CMR	% 15 ATIKLI CMR
KÜTLE KAYBI(%)	% 0,1	% 0,14	% 0,14	% 0,04
KUVARS DÖNÜŞÜM SICAKLIĞI	570° C	575° C	575° C	571° C

Bu sonuçlara göre farklı reçete çalışmalarındaki ısıl davranışlarda, bünyeyi olumsuz etkileyecek(kütle kaybına bağlı küçülme vb.) herhangi farklı bir sonuca rastlanmamıştır.

2.1.21. Renk ölçüm deneyi sonucu

Renk ölçüm deneyi pişirim sonrası final ürünlerine uygulanmıştır. Karışımları oluşturulan çamurlardan pişirim sonrası alınan mamüllerin renk ölçüm deneyi sonuçları Çizelge 20’de gösterilmiştir.

Çizelge 20. Renk ölçüm deneyi sonuçları (L: Beyazlık +a: Kırmızı –a: Yeşil+b: Sarı -b: Mavi).

Numune adı	L	a	b
YP ISL	89,52	-1,23	4,56
%5	89,47	-1,25	4,58
%10	89,62	-1,20	4,52
%15	89,55	-1,21	4,53

2.1.22. Çarpma ve parçacık kopma dayanıklılığı deneyi sonucu

Kütlece karışımları hazırlanan %5, %10, %15 atık ilaveli ve yumuşak porselen işletme çamurlarından elde edilen nihai ürünlere uygulanan çarpma ve parçacık kopma dayanıklılığı deneyi sonucu Çizelge 21 ve 22’de gösterilmiştir.

Çizelge 21. Çarpma dayanımı testi (N.m).

Numune	İlk Kırılma (N.m)	Parçalanma (N.m)
YP ISL	0,25	0,27
%5 atık ilaveli	0,24	0,27
%10 atık ilaveli	0,25	0,26
%15 atık ilaveli	0,25	0,27

Çizelge 22. Parçacık kopma testi (N.m).

Numune	İlk Kırılma (N.m)	Parçalanma (N.m)
YP ISL	0,23	0,24
%5 atık ilaveli	0,20	0,22
%10 atık ilaveli	0,21	0,22
%15 atık ilaveli	0,22	0,23

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada atık numunenin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin yumuşak porselene benzerliklerinden dolayı atıkların geri kazanımı sağlanarak işletmeye alınmasında herhangi bir sorunla karşılaşılmaştır. Yapılan karışımların(%5,%10,%15 atık ilaveli çamur) elde edilen deney sonuçlarına bakılarak, atıksız işletme çamuruna göre bünyede olumsuz etki yaratacak herhangi bir değişkenlik görülmemiş olup,en çok atığı kullanmak adına %15 atık ilaveli karışım seçilmiş ve işletmeye alınmıştır. Eş eksenli preslerle yaklaşık %80 oranında üretim yapan bir seramik fabrikasında aylık ortalama 700 ton yumuşak porselen granülü kullanılmaktadır. Eş eksenli presle üretimden kaynaklanan %20'lik zayıtın geri kazanımı düşünülürse aylık 140 ton atığın tekrar üretime alınması söz konusu olacaktır. Yapılan deneyler sonunda elde edilen verilerle yapılan bu geri kazanım sayesinde, ortalama ton başına granül maliyetinin 150 euro olduğunda elde edilecek ekonomik kazanım aylık 20000 euronun üzerinde olacaktır. Doğal olarak bu miktar firma için ekonomik getirisinin yanı sıra, bu dövizin yurtdışından hammadde alımında kullanılmayacağı için ulusal bir kazanım olarak geri dönecektir ve döviz çıkışını azaltacaktır. Azalan döviz çıktısıyla ülke ekonomisine büyük katkı sağlanacaktır. Çevreyi kirletecek bu atıkların geri kazanımı sayesinde atıkların depolanması taşınması ve bertaraf edilmesi gibi, işlemlere gerek kalmayacaktır. Bu şekilde çevre korunacak ve enerji giderleri azalmış olacaktır.

4. TARTIŞMA

Porselen üretiminde farklı şekillendirme teknikleri kullanılmaktadır. Bu şekillendirme tekniklerinden en yoğun kullanılanı ise eş eksenli preslerle yapılan şekillendirmedir. Üretimin yaklaşık %80' i eşeksenli preslerle yapılmaktadır. Bu preslerde %20 civarında kayıplar meydana gelebilmektedir. Bunlar genelde pres sonrası ortaya çıkan talaşlar ve rötüş kayıplarıdır. Bunun yanı sıra fırınlama sonrasında ortaya çıkan %5 civarında bisküvi kayıpları da mevcuttur. Bu kayıpların geri kazanımının maksimum düzeyde olması ve bu kazanımı sağlarken minimum maliyetle yapılması için öğütme parametrelerinden aşamalı öğütme seçilmiştir. Aşamalı öğütme parametresinde yüksek oranda katı en kısa sürede öğütülmüştür. Karışım oranı olarak maksimum karışım olan %15 atık ilaveli karışım seçilmiştir. Yapılan fiziksel ve kimyasal testler neticesinde, %5, %10, %15 atık ilaveli karışım ve yumuşak porselen işletme çamurları arasında yüksek oranda benzerlikler mevcuttur.

KAYNAKÇA

- [1] Yanga, Y., Fenga, M., Lingb, X., Maoa, Z., Wanga, C., Sunc, X. ve Guo, M. (2005), Microstructural analysis of the color-generating mechanism in Ru Ware, Modern Copies and its Differentiation with Jun Ware, J. of Arc.Sci., **32**,301 310.
- [2] Cooper, J.J. (1995), Bone for Bone China ,Br. Ceram. Trans., **94** (4), 165-168.
- [3] Uda, M., Kanno, H. ve Mukoyama, T. (1999) , Preliminary report on porcelain in Meissen (Germany) and Arita (Japon), Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, **150**, 597-600.

- [4] Iqbal, Y. ve Lee E. W. (2000), Microstructural Evolution in Triaxial Porcelain, Jour. Am. Ceram. Soc., 83, 3121– 3127.
- [5] Arcasoy, A., (1995), Seramik Teknolojisi, Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Ana Sanat Dalı Yayınları, İstanbul.
- [6] Ryan, W. ve Redford C. (1997), Whitewares: production, testing and quality control, Institute of Ceramics, Pergamon Press, Oxford.
- [7] Güngör, F., (2012), Daha az enerji ile yumuşak porselen üretiminin incelenmesi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.